

不同体色生物型烟蚜的取食特性分析

何应琴 曾贤义 程 浅 余永旭 张永强 丁 伟*

(西南大学植物保护学院, 重庆 400716)

摘要: 为探究不同体色生物型烟蚜 *Myzus persicae* 取食行为的差异, 明确其在烟田的分布特征, 利用刺探电位图谱 (EPG) 技术测定了红色型、绿色型和褐色型 3 种体色生物型烟蚜在烟草上的取食行为。结果表明: 红色型烟蚜刺探取食之前对烟草寄主所花费的识别时间最短, 为 2.20 min, 极显著短于褐色型烟蚜的 10.09 min。绿色型烟蚜在刺探过程中 pd 波平均持续时间为 7.45 s, 显著长于红色型烟蚜的 6.85 s, 极显著长于褐色型烟蚜的 3.95 s, 但 3 种体色生物型烟蚜的 pd 波次数无显著差异。首次刺吸至第 1 次出现 E2 波所需时间, 绿色型和褐色型烟蚜均约为红色型烟蚜的 2 倍。韧皮部取食阶段, 3 种体色生物型烟蚜分泌唾液 (E1 波) 的时间无显著差异; 红色型烟蚜被动吸食汁液 (E2 波) 时间为 112.28 min, 显著长于绿色型烟蚜的 70.02 min 和褐色型烟蚜的 75.15 min。褐色型烟蚜在木质部主动摄取汁液 (G 波) 的时间最短为 8.58 min, 与另外 2 种体色生物型烟蚜差异显著。表明 3 种体色生物型烟蚜各自具有不同的取食策略, 但总体而言红色型烟蚜对烟草的适应性最强。

关键词: 烟蚜; 体色生物型; 刺探电位图谱; 取食行为

EPG analysis of feeding behavior of green peach aphid *Myzus persicae* biotypes with different body colors

He Yingqin Zeng Xianyi Cheng Qian Yu Yongxu Zhang Yongqiang Ding Wei*

(College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: To explore the differences of feeding behavior and spatial distribution characteristics among three body-color biotypes of green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae), the stylet penetration activities of the red, green and pitchy biotypes were recorded by using electrical penetration graph (EPG) technique in the laboratory. The results showed that the initial probing of the red biotype on tobacco was the earliest with 2.20 min, while the pitchy was the latest with 10.09 min. The mean duration of pd of the green biotype was 7.45 s, significantly longer than those of the other two biotypes. There were no significant differences in the count of pd among three body-color biotypes. The time spent from first probe to first E2 between the green and pitchy biotypes was both almost double of the red ones. On the phloem phase, there were no differences in the number of E1 among three biotypes, while the duration of passive ingestion (E2 waveform) of the red biotype was 112.28 min, significantly longer than those of the green and pitchy ones with 70.02 min and 75.15 min. Compared to the other biotype aphids, the time of the pitchy biotype for actively sucking the juices (G waveform) at xylem was the shortest with 8.58 min, significantly shorter than those of red and green biotypes. The results indicated that each of the three biotypes of aphid species had different feeding strategies, and the red biotype had the best fitness on tobacco.

Key words: *Myzus persicae*; body-colour biotype; electrical penetration graph (EPG); feeding behavior

基金项目: 重庆烟草有害生物综合治理重大专项 (NY20140401070001)

* 通讯作者 (Author for correspondence), E-mail: dingw@swu.edu.cn

收稿日期: 2016-01-22

烟蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 又名桃蚜, 隶属半翅目蚜科瘤蚜属, 寄主范围非常广泛, 可在 50 余种 400 多种植物上取食 (Davis et al., 2007; Pelletier et al., 2010)。除通过直接取食寄主植物汁液造成危害外, 烟蚜还可传播 115 种植物病毒, 占整个蚜虫传播的 170 种植物病毒的 67.7% (Blackman & Eastop, 2000)。烟蚜是一个生物型多变的混合种群, 一些学者根据其体色的变化, 将烟蚜划分为多种体色生物型。如 Rijagopal (1983) 将烟蚜划分为黄色型、绿色型和红色型; Takada (1979) 研究表明烟蚜的体色与寄主植物有关, 根据体色和酯酶的差异将烟蚜分为 28 个“体色-酯酶型”; 张建亮等 (2000) 将烟蚜分为绿色型和红色型, 并认为体色是由遗传基因控制的。黄绿色、红色及褐色 3 种体色型烟蚜不仅在体色上有差别, 而且在形态上也有一定区别。3 种体色生物型烟蚜对温度的适应性及生存对策不同, 黄绿色型以适温下的高繁殖力来提高种群数量; 褐色型则以扩大生存温度范围来抵抗不良温度环境; 而红色型介于二者之间 (王茂涛和张孝羲, 1991)。

刺探电位图谱 (electrical penetration graph, EPG) 技术是当前研究刺吸式口器昆虫取食行为的重要手段, 该技术可准确记录昆虫口针在寄主植物组织内的动作和位置 (Tjallingii, 1978; Liu et al., 2012)。根据昆虫的吸食波形分析植物不同组织对其取食行为的影响, 再结合其它技术能进一步揭示植物与刺吸式昆虫之间的相互作用机制 (薛莹等, 2008)。EPG 技术最早用于蚜虫取食行为的研究, 同时对蚜虫的研究也最深入和广泛。目前, 绝大多数的 EPG 技术已在研究刺吸式昆虫取食行为的基础上, 结合取食波形进一步对昆虫的寄主选择性、植物抗虫性以及传播病毒机制等展开研究, 并已成为昆虫学的研究热点 (罗晨等, 2005)。此外, 近年来利用 EPG 技术在作物抗性判别和农药致毒机理方面的研究也有大量报道 (He et al., 2013; 孙凯等, 2014)。研究表明, 不同体色生物型烟蚜在形态、生活周期、寄主专化性、抗药性等方面存在一定差异 (赵冲, 2014), 但其机理尚不清楚。

当前, 田间烟蚜主要以红色型和绿色型为主, 因此对不同体色生物型烟蚜的比较研究多以这 2 种生物型为对象, 而褐色型的研究相对较少。截至目前, 大多数学者对不同生物型烟蚜的研究多集中于生物学和生态学方面 (洪家保和邓建华, 2006; 文静等, 2014), 而对其取食行为的研究尚未见报道。因此, 本试验采用 EPG 技术对 3 种不同体色生物型烟蚜的

取食行为进行探究, 明确不同体色烟蚜在烟草上的适应性, 从而预测其种群在田间烟草植株上的分布特征, 以期今后烟蚜的防治提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料

供试烟苗: 烟草品种为云烟 87。将种子播于育苗盘上, 待幼苗长出后, 移至 6 cm×8 cm×10 cm 的塑料花盆中, 放入温室内培养。培养条件为温度 25℃、光照 L:D=16 h:8 h、相对湿度 (70±10)%。根据烟苗生长的需求定量浇水, 当烟苗生长至 5~6 叶时供试。

供试虫源: 试验所用的红色型、绿色型和褐色型 3 种体色烟蚜均来源于西南大学温室内长期饲养的烟蚜种群。以云烟 87 为寄主, 饲养在温度 25℃、光照 L:D=16 h:8 h、相对湿度 (70±10)% 的培养室内。饲养超过 3 代后, 取大小和日龄一致的无翅成蚜用于试验。

仪器: EPG 记录仪由 Giga-4 型直流信号放大器、铜钉、铜丝、银胶和直径 15 μm 金丝等构成, 为荷兰 Wageningen 大学昆虫实验室研制。

1.2 方法

1.2.1 EPG 的转换及记录

全部试验在约 25℃ 的室温下进行。采用 DC-EPG Giga-4 刺探电位仪, 选择 2 日龄的无翅成蚜与烟苗分别连入生物电流放大器的昆虫电极和植物电极。昆虫电极是一段长 2~3 cm、直径 15 μm 的金丝, 末端用水溶性导电银胶粘在烟蚜的前胸背板上, 植物电极则直接插在烟苗生长的塑料花盆中。3 种体色的生物型烟蚜在同一试验条件下进行 EPG 测定, 1 头蚜虫和 1 株烟苗只用于 1 次试验记录。整个记录系统置于法拉第金属屏蔽罩中以防止外源噪声的干扰。受试烟蚜饥饿 1 h 后, 于每天 9:00 开始 EPG 记录, 连续记录 6 h, 每个处理设 15 次有效重复, 即去除试验过程中因虫体掉落或其它因素造成试验失败的重复, 最终统计试验成功的重复组数。试验过程中, EPG 探头获取的电信号转换成数字信号后, 由 PROBE 3.4 软件记录并以波谱的形式储存于电脑上。采用 stylet + a 将波谱信号转换成数字信号, 然后利用 EPG-analysisworksheet 4.4.1 分析数字信号 (Sarria et al., 2009)。

1.2.2 EPG 数据的获取及分析

烟蚜在烟草上的刺探取食波形与 Tjallingii (1985) 和胡想顺等 (2007) 报道的其它蚜虫的波形基

本一致,分为以下9种波形:其中np波代表非刺探(non-probing)行为;路径波(包括A波、B波、C波、pd波、F波)表示烟蚜口针位于寄主植物表皮与微管束之间;E1波为口针到达筛管后分泌水溶性唾液的相关波形;E2波为烟蚜在韧皮部被动吸食汁液的波形;G波是烟蚜在木质部主动吸食的波形。EPG波形指标的选择参考阎凤鸣(2000)和胡想顺等(2008)的方法,将整个记录分为3个阶段:口针到达韧皮部前即刺探路径阶段、口针在韧皮部的刺探阶段及口针在木质部的刺探阶段,共分析23个指标。

1.3 数据分析

采用SPSS 13.0软件进行试验数据的统计分析,应用最小显著差异(LSD)法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 口针在韧皮部取食前的刺探行为比较

在对烟蚜取食的6 h监测过程中,红色型烟蚜

在云烟87上的首次刺探出现时间最早,为2.20 min,短于绿色型烟蚜的4.89 min,极显著短于褐色型烟蚜的10.09 min(表1)。3种体色生物型烟蚜在云烟87上的刺探次数、非刺探总时间和第1次刺探持续时间均无显著差异,但开始刺探至第1次pd波出现时间存在差异。刺探过程中,红色型烟蚜的pd波出现次数高于其它2种体色生物型烟蚜,表明红色型烟蚜在取食过程中口针与细胞间的接触频率更高,但在3种体色生物型烟蚜间差异不显著。绿色型烟蚜的pd波平均持续时间为7.45 s,显著高于红色型烟蚜的6.85 s,极显著高于褐色型烟蚜的3.95 s(图1)。C波参数测定结果表明,红色型烟蚜在刺探取食过程中花费在路径阶段的时间略短于另外2种体色生物型烟蚜。3种不同体色生物型烟蚜有F波的个体比例与F波总持续时间均为绿色型>红色型>褐色型,表明绿色型烟蚜在刺探过程中口针所遇到的机械阻力最大。

表1 三种体色生物型烟蚜在烟草上刺探路径阶段的EPG参数
Table 1 The EPG parameters of three biotypes of *Myzus persicae* in pathway phase on tobacco

EPG 参数 EPG parameter	红色型 Red biotype	绿色型 Green biotype	褐色型 Pitchy biotype
刺探次数 Count probes	13.07±1.93 Aa	11.73±2.16 Aa	14.13±3.26 Aa
非刺探总时间 Sum time of np wave (min)	58.59±13.92 Aa	66.85±16.04 Aa	99.34±14.08 Aa
第1次刺探出现时间 Time to 1st probe from start of EPG (min)	2.20±0.75 Bc	4.89±1.00 ABbc	10.09±2.78 Aa
第1次刺探持续时间 Duration of 1st probe (min)	28.24±5.91 Aa	56.06±11.65 Aa	41.90±13.37 Aa
第1次到达韧皮部前的刺探次数 Number of probes to the 1st E1	4.62±0.53 Aa	7.54±1.31 Aa	5.67±1.65 Aa
开始刺探至第1次pd波时间 Duration from 1st C to 1st pd (min)	3.59±0.84 Abc	6.65±1.19 Aa	3.31±0.74 Ac
pd波次数 Count of pd	104.93±14.77 Aa	85.53±11.97 Aa	89.47±15.80 Aa
pd波平均持续时间 Mean duration of pd (s)	6.85±0.21 Ab	7.45±0.22 Aa	3.95±0.06 Bc
短暂刺吸次数 Number of short probes (C<3 min)	6.33±1.31 Aa	5.27±1.28 Aa	8.73±2.53 Aa
C波总持续时间 Total duration of C (min)	114.80±15.96 Aa	130.75±16.98 Aa	132.34±25.49 Aa
F波总持续时间 Duration of F (min)	29.52±12.57 Aa	44.79±25.29 Aa	16.99±11.02 Aa
有F波的个体比率 Individual percent with F waveform (%)	20.00	33.00	27.00

表中数据为平均数±标准误。同行不同小、大写字母表示经LSD法检验分别在P<0.05和P<0.01水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase or uppercase letters in the same row indicate significant difference at P<0.05 or P<0.01 level by LSD test.

2.2 口针在韧皮部取食的刺探行为比较

韧皮部的刺吸参数表明,3种体色生物型烟蚜在韧皮部分泌唾液(E1波)的次数和总持续时间均无显著差异。绿色型烟蚜的E1波占总E波比例略高于红色型和褐色型烟蚜,但差异不显著。红色型烟蚜第1次韧皮部持续取食时间为63.13 min,显著长于绿色型烟蚜的30.12 min和褐色型烟蚜的24.67 min。6 h测定时间内红色型烟蚜能到达韧皮部取食的个体比率为87.00%,褐色型为80.00%,绿色型为

73.00%。红色型烟蚜首次刺吸至第1次出现E2波的时间最短,而绿色型和褐色型烟蚜均约为红色型烟蚜的2倍,表明绿色型和褐色型烟蚜需花费更长的刺探时间才能保证口针到达韧皮部被动吸食寄主植物汁液。3种体色生物型烟蚜E2波次数和持续次数均无显著差异,但红色型烟蚜E2波的总持续时间112.28 min显著长于绿色型的70.02 min和褐色型的75.15 min(表2),表明红色型烟蚜更易持续吸食烟草寄主的韧皮部汁液。

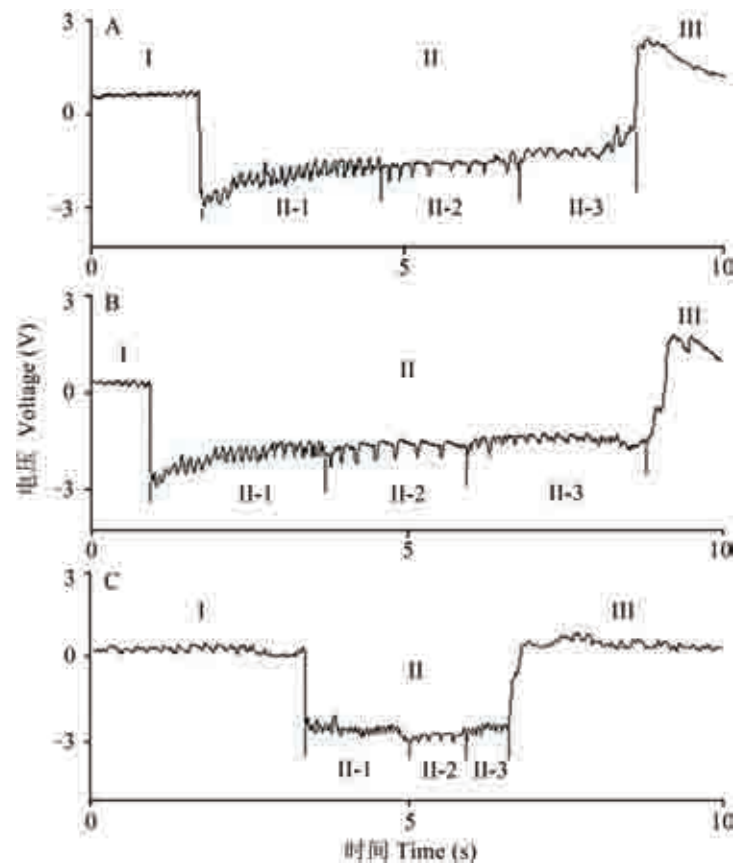


图1 三种体色生物型烟蚜在烟草上的pd波

Fig. 1 The pd waveform patterns produced by three biotypes of *Myzus persicae* on tobacco

A: 红色型烟蚜; B: 绿色型烟蚜; C: 褐色型烟蚜。I、II 和 III 分别代表pd波的3个亚波,即pd-I、pd-II 和pd-III; II-1、II-2 和 II-3 则分别代表pd-II的3个亚波。A: Red biotype; B: green biotype; C: pitchy biotype. I, II and III represent pd-I, pd-II and pd-III, respectively; II-1, II-2 and II-3 represent the three sub-phases of pd-II.

表2 三种体色生物型烟蚜在烟草韧皮部和木质部吸食的EPG参数

Table 2 The EPG parameters of three body-color biotypes of *Myzus persicae* in phloem and xylem phase on tobacco

EPG 参数 EPG parameter	红色型 Red biotype	绿色型 Green biotype	褐色型 Pitchy biotype
E1波次数 Number of E1	3.60±1.06 a	2.73±0.73 a	3.27±0.90 a
第1次韧皮部持续取食时间 Duration of 1st E	63.13±13.61 a	30.12±7.86 bc	24.67±12.07 c
E1波总持续时间 Total duration of E1	21.84±8.58 a	25.26±8.39 a	27.97±11.79 a
E1波占韧皮部比例 Contribution of E1 to phloem phase (%)	35.48±9.63 a	51.91±10.20 a	32.30±8.90 a
E2波次数 Number of E2	1.73±0.45 a	1.47±0.47 a	1.93±0.51 a
首次刺吸至第1次E2波的时间 Time from 1st probe to 1st E2 (min)	94.95±23.41 b	181.05±31.26 a	182.85±37.14 a
E2波持续次数 Number of sustained E2 (>10 min)	0.73±0.18 a	0.67±0.25 a	0.60±0.16 a
E2波总持续时间 Total duration of E2 (min)	112.28±14.70 a	70.02±11.89 b	75.15±8.47 b
G波总持续时间 Duration of G (min)	23.37±3.67 a	22.17±3.78 a	8.58±1.19 b
有E波的个体比率 Individual percent with E waveform (%)	87.00	73.00	80.00
有G波的个体比率 Individual percent with G waveform (%)	47.00	33.00	27.00

表中数据为平均数±标准误。同行数据后不同小写字母表示经LSD法检验在P<0.05水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at P<0.05 level by LSD test.

2.3 口针在木质部取食的刺探行为比较

红色型烟蚜在刺探取食过程中出现G波的个体比率为47.00%,绿色型烟蚜为33.00%,而褐色型烟蚜最低,为27.00%。红色型烟蚜的G波总持续时间最长,可达23.37 min,绿色型烟蚜为22.17 min,二者显著长于褐色型烟蚜的8.58 min(表2)。表明与其它2种体色生物型烟蚜相比,褐色型烟蚜在吸食过程中对水分和无机盐的要求相对较低。

3 讨论

烟蚜除具有明显的体色生物型分化外,同时还存在寄主生物型的分化。Takada & Tamura(1987)根据烟蚜在不同寄主植物上的取食及生长发育特点将其分为2种寄主生物型,即烟草型和非烟草型。我国陕西省十字花科植物上的烟蚜也存在甘蓝型和烟草型,其中甘蓝型烟蚜寄主范围主要局限于十字花科植物;而烟草型烟蚜寄主范围则相对较广泛,但最喜食烟草(谢贤元,1992)。研究表明,当昆虫降落到植物上后,口针所探测到的各种信息,包括叶表的物理结构和叶组织内的化学信息对最终决定是否取食该植物具有非常重要的作用(罗晨等,2005)。刺吸式口器昆虫在刺探取食过程中,若寄主植物散发趋避剂,可造成昆虫的不选择性,则第1次刺探出现时间将延长;若抗性因子位于植物表皮层,昆虫口针不易刺入或有拒食剂的存在,则在刺探开始时有较高频率的中断(Tjallingii, 1988; 2006)。本研究中,红色型烟蚜在云烟87上第1次刺探出现时间显著早于其它2种体色生物型烟蚜,但总刺探次数和第1次刺探持续时间无显著差异。表明就绿色型和褐色型烟蚜而言,刺探开始前烟草可能对其散发不利取食的趋避剂,不过口针一旦开始刺探烟蚜便能很快适应这种寄主。

蚜虫是一种靠在木质部取食来维持其体内水分和无机盐的昆虫(Spiller et al., 1990)。本试验结果表明,与其它2种体色生物型烟蚜相比,褐色型烟蚜在吸食过程中对水分和无机盐的要求相对较低,其生物学意义有待进一步探究。昆虫对寄主的专化性选择是昆虫在与寄主长期进化过程中的生态适应结果。陈文胜等(1997)研究表明,不同体色生物型烟蚜对烟草和蔬菜具有不同的选择性。将烟草上的红色型烟蚜转到甘蓝上后仍然有较高的存活率;将甘蓝上的红色型烟蚜转到烟草仍可以活,而绿色型烟蚜则死亡率较高,表明红色型烟蚜取食烟草有利于其生长和繁殖,而绿色型烟蚜取食甘蓝有利其生长

和繁殖。本试验中,红色型烟蚜非刺探np波时间最短,韧皮部被动取食(E2波)时间显著长于绿色型和褐色型烟蚜。由此可知,3种体色生物型烟蚜虽各自拥有不同的取食策略,但总体而言红色型烟蚜对烟草的适应性最强。此结论与陈文胜等(1997)的研究结果相似。

截至目前,烟蚜体色变化形成的机制尚有争议。吕召云等(2013)用微卫星标记发现,红色型烟蚜的生物遗传关系与绿色型烟蚜相近。不同体色生物型烟蚜除了在种质特征、生物学特性等方面存在差异外,在分布范围上也略有不同,如在日本、美国 and 韩国,烟草专化型烟蚜的体色为红色;我国台湾、云南、陕西等地区烟草寄主上的烟蚜也以红色型占优势;而在东亚、东南亚以外的其它地区,烟草上烟蚜种群则以绿色型为主(侯有明等,2000;吴兴富等,2005)。此外,不同体色生物型烟蚜对农药的抗性不一致。如Harlow et al.(1991)报道美国北卡罗地区不同体色生物型烟蚜对有机磷杀虫剂的敏感性存在差异,其中红色型烟蚜对有机磷杀虫剂的抗药性较强;程新胜等(1998)发现在我国江淮烟区未施药的试验地中,红色型烟蚜对供试几种药剂的敏感性均比绿色型烟蚜弱;宫亚军等(2013)研究也表明,红色型烟蚜对烟碱类、抗生素类及有机磷类杀虫剂的敏感性明显低于绿色型烟蚜,尤其对吡虫啉的敏感性远低于绿色型烟蚜。生物间的竞争取代受诸多因子影响,但其中寄主选择性是重要的影响因子。刺吸式口器昆虫取食韧皮部的时间是其对寄主适应性的重要指标。基于本研究中烟蚜在韧皮部的EPG参数可知,红色型烟蚜对烟草的适应性最好,绿色型与褐色型烟蚜次之。综上所述可知,造成我国大部分烟区红色型烟蚜占优势种群的原因除与其抗药性有关外,还可能与红色型烟蚜对烟草寄主的适应性密切相关。

昆虫取食行为对植物病毒传播有着重要的生态学 and 进化方面的意义(Stafford et al., 2012)。利用EPG技术分析桃蚜传播马铃薯Y病毒(Potato virus Y, PVY)和甜菜花叶病毒(Beet mosaic virus, BMV)的试探性取食行为表明,pd波的产生对桃蚜的成功传毒具有重要意义(Powell, 1991)。张鹏飞等(2001)和王斌等(2003)研究表明,棉蚜Aphis gossypii获得黄瓜花叶病毒(Cucumber mosaic virus, CMV)需要pd波的发生,且获毒效率与pd波次数呈正相关。此外,麦长管蚜Sitobion avenae、麦二叉蚜Schizaphis graminum和禾谷缢管蚜Rhopalosiphum

padi 这3种蚜虫中, 麦二叉蚜传毒能力最强的原因也与其刺探取食过程中pd波出现次数和持续时间有关(苗进等, 2011)。本试验中EPG测定结果表明, 3种体色生物型烟蚜pd波次数以红色型烟蚜略高于其它2种体色生物型烟蚜, 而pd波平均持续时间则以绿色型烟蚜最长, 为7.45 s, 显著长于红色型烟蚜的6.85 s, 极显著长于褐色型烟蚜的3.95 s。因此就传毒能力而言, 推测烟草上红色型与绿色型烟蚜差异不大, 褐色型烟蚜传毒能力最弱。洪家保和邓建华(2006)发现在相同条件下, 红、绿2种体色生物型烟蚜种群的传毒与获毒能力虽有不同, 但差异不明显。本试验推论与此研究结论相符, 但关于褐色型烟蚜传毒方面的研究目前尚未见报道。本研究对不同体色生物型烟蚜在烟草上的刺吸参数进行了分析, 以期阐明不同体色生物型烟蚜寄主适应性与种群分布特征之间的关系提供借鉴, 从而为烟蚜的防治提供新思路。由于本试验只测定了不同体色生物型烟蚜在烟草上的取食行为差异, 因此在其它寄主上是否具有相同规律仍有待进一步探究。

参 考 文 献 (References)

- Blackman RL, Eastop VF. 2000. Aphids on the world's crops: an identification and information guide. Chichester: John Wiley and Sons
- Chen WS, Gu DJ, Li W, Chen ZP, Zhang WQ. 1997. Study on the host specialisation of *Myzus persicae* in South China. *Journal of South China Agricultural University*, 18(4): 54–58 (in Chinese) [陈文胜, 古德就, 李卫, 陈泽鹏, 张维球. 1997. 烟蚜寄主专化性的研究. 华南农业大学学报, 18(4): 54–58]
- Cheng XS, Han YW, Wang FX. 1998. Dynamics of tobacco aphids in different color and their sensitivity to some pesticides. *Chinese Tobacco Science*, (3): 33–34 (in Chinese) [程新胜, 韩移旺, 王方晓. 1998. 不同体色烟蚜的消长动态及对药剂的敏感性. 中国烟草科学, (3): 33–34]
- Davis JA, Radcliffe EB, Ragsdale DW. 2007. Resistance to green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), and potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas), in potato cultivars. *American Journal of Potato Research*, 84(3): 259–269
- Gong YJ, Wang ZH, Shi BC, Jiang CY, Kang ZJ, Jin GH, Wei SJ. 2013. The sensitivity of two body colour bio-types of the green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) to the pesticides and its correlation to enzyme activity. *Journal of Environmental Entomology*, 35(4): 452–457 (in Chinese) [宫亚军, 王泽华, 石宝才, 姜春燕, 康总江, 金桂华, 魏书军. 2013. 两种体色生物型桃蚜对杀虫剂敏感性差异及其与酶活力的关系. 环境昆虫学报, 35(4): 452–457]
- Harlow CD, Southern PS, Lampert EP. 1991. Geographic distribution of two color forms, carboxylesterase activity, and chromosome configuration of the tobacco aphid (Homoptera: Aphididae) in North Carolina. *Journal of Economic Entomology*, 84(4): 1175–1179
- He YX, Zhao JW, Zheng Y, Weng QY, Biondi A, Desneux N, Wu KM. 2013. Assessment of potential sublethal effects of various insecticides on key biological traits of the tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*. *International Journal of Biological Sciences*, 9(3): 246–255
- Hong JB, Deng JH. 2006. Studies on CMV spreading rate of red and green aphid populations. *Tobacco Science & Technology*, (1): 58–62 (in Chinese) [洪家保, 邓建华. 2006. 不同体色种群烟蚜传播CMV的效率. 烟草科技, (1): 58–62]
- Hou YM, Wu JX, An YG, Hu MR, Nan XP, Liu SY, Hu ZD. 2000. Studies on growth and population dynamics of body-colour bio-types of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 9(1): 35–38 (in Chinese) [侯有明, 仵均祥, 安英鸽, 胡美绒, 南新平, 刘绍友, 胡作栋. 2000. 桃蚜体色生物型种群动态研究. 西北农业学报, 9(1): 35–38]
- Hu XS, Zhao HY, Hu ZQ, Li DH, Zhang YH. 2007. Comparison of *Rhopalosiphum padi* feeding behavior on seedlings of three wheat varieties. *Acta Entomologica Sinica*, 50(11): 1105–1110 (in Chinese) [胡想顺, 赵惠燕, 胡祖庆, 李东鸿, 张宇红. 2007. 禾谷缢管蚜在三个小麦品种上取食行为的EPG比较. 昆虫学报, 50(11): 1105–1110]
- Hu XS, Zhao HY, Hu ZQ, Li DH, Zhang YH. 2008. EPG comparison of *Sitobion avenae* (Fab.) feeding behaviors on three wheat varieties. *Scientia Agricultura Sinica*, 41(7): 1989–1994 (in Chinese) [胡想顺, 赵惠燕, 胡祖庆, 李东鸿, 张宇红. 2008. 麦长管蚜在3个小麦品种上取食行为的EPG比较. 中国农业科学, 41(7): 1989–1994]
- Liu BM, Yan FM, Chu D, Pan HP, Jiao XG, Xie W, Wu QJ, Wang SL, Xu BY, Zhou XG, et al. 2012. Difference in feeding behaviors of two invasive whiteflies on host plants with different suitability: implication for competitive displacement. *International Journal of Biological Sciences*, 8(5): 697–706
- Luo C, Yue M, Xu HF, Zhang ZL. 2005. Application of electrical penetration graph (EPG) in entomological studies and new findings. *Acta Entomologica Sinica*, 48(3): 437–443 (in Chinese) [罗晨, 岳梅, 徐洪富, 张芝利. 2005. EPG技术在昆虫学研究中的应用及进展. 昆虫学报, 48(3): 437–443]
- Lü ZY, Yang MF, Shi PQ, Li SW, Liao QR, Shang SH. 2013. Genetic diversity analysis of *Myzus persicae* (Sulzer) in Guizhou Province. *Scientia Agricultura Sinica*, 46(13): 2685–2694 (in Chinese) [吕召云, 杨茂发, 师沛琼, 李尚伟, 廖启荣, 商胜华. 2013. 贵州省烟蚜遗传多样性分析. 中国农业科学, 46(13): 2685–2694]
- Miao J, Wu YQ, Yu ZX, Duan Y, Jiang YL, Li GP. 2011. Comparative of feeding behaviors of *Sitobion avenae*, *Sitobion graminum* and *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG). *Acta Ecologica Sinica*, 31(1): 175–182 (in Chinese) [苗进, 武予清, 郁振兴, 段云, 蒋月丽, 李国平.

2011. 基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较. 生态学报, 31(1): 175-182]
- Pelletier Y, Pompon J, Dexter P, Quiring D. 2010. Biological performance of *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae* (Homoptera: Aphididae) on seven wild *Solanum* species. *Annals of Applied Biology*, 156(3): 329-336
- Powell G. 1991. Cell membrane punctures during epidermal penetrations by aphids: consequences for the transmission of two potyviruses. *Annals of Applied Biology*, 119(2): 313-321
- Rajagopal R. 1983. Studies on the development and metamorphosis of *Myzus persicae* (Sulzer) by cross inoculation among different host plants. *Pranikee*, (4): 126-133
- Sarria E, Cid M, Garzo E, Fereres A. 2009. Excel workbook for automatic parameter calculation of EPG data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 67(1/2): 35-42
- Spiller NJ, Koenders L, Tjallingii WF. 1990. Xylem ingestion by aphids: a strategy for maintaining water balance. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 55(2): 101-104
- Stafford CA, Walker GP, Ullman DE. 2012. Hitching a ride: vector feeding and virus transmission. *Communicative & Integrative Biology*, 5(1): 43-49
- Sun K, Li GH, Ding WB, Zhang YJ, Li YZ. 2014. EPG analysis of feeding behavior of *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) on different rice varieties. *Acta Entomologica Sinica*, 57(3): 335-342 (in Chinese) [孙凯, 李冠华, 丁文兵, 张一君, 李有志. 2014. 不同水稻品种上白背飞虱取食行为的 EPG 分析. 昆虫学报, 57(3): 335-342]
- Takada H. 1979. Characteristics of forms of *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) distinguished by colors and esterase difference, and their occurrence in population host plants in Japan. *Applied Entomology and Zoology*, 14(4): 370-375
- Takada H, Tamura M. 1987. Occurrence of tobacco-specific forms of *Myzus persicae* (Homoptera, Aphididae). *Kontyu*, 55(4): 573-586
- Tjallingii WF. 1978. Electronic recording of penetration behaviour by aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 24(3): 721-730
- Tjallingii WF. 1985. Electrical nature of recorded signals during stylet penetration by aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 38(2): 177-186
- Tjallingii WF. 1988. Electrical recording of stylet penetration activities. //Minks AK, Harrewijn P. *Aphids, their biology, natural enemies and control*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, pp. 95-108
- Tjallingii WF. 2006. Salivary secretions by aphids interacting with proteins of phloem wound responses. *Journal of Experimental Botany*, 57(4): 739-745
- Wang B, Chen JQ, Zhang PF, Ma L, Wang YM. 2003. Effects of post-acquisition fast on cucumber mosaic virus transmission by the cotton aphid, *Aphis gossypii*. *Acta Entomologica Sinica*, 46(3): 259-266 (in Chinese) [王斌, 陈建群, 张鹏飞, 马亮, 王咏妙. 2003. 棉蚜获毒后禁食对其保持并传播黄瓜花叶病毒的影响. 昆虫学报, 46(3): 259-266]
- Wang MT, Zhang XY. 1991. Study on the colorific biotypes of green peach aphid. *Journal of Plant Protection*, 18(4): 351-355 (in Chinese) [王茂涛, 张孝义. 1991. 桃蚜体色生物型的研究. 植物保护学报, 18(4): 351-355]
- Wen J, Zhang S, Chen WL, Zhan Y, Yang Y, Zhang J, Yang TP. 2014. Parasitic selectivity of *Aphidius gifuensis* to different biotypes of *Myzus persicae*. *Guizhou Agricultural Sciences*, 42(8): 106-109 (in Chinese) [文静, 张升, 陈文龙, 战玉, 杨彦, 张继, 杨天沛. 2014. 烟蚜茧蜂对不同生物型烟蚜的寄生选择. 贵州农业科学, 42(8): 106-109]
- Wu XF, Song CM, Deng JH, Gao JH. 2005. Difference of *Myzus persicae* (Sulzer) between red biotype and green biotype in Yunnan Province. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 24(3): 240-244 (in Chinese) [吴兴富, 宋春满, 邓建华, 高家合. 2005. 云南省烟蚜红绿 2 种体色生物型的差异. 华中农业大学学报, 24(3): 240-244]
- Xie XY. 1992. Research on cruciferous vegetables two types creatures of *Myzus persicae*. *Plant Protection*, 18(1): 31-32 (in Chinese) [谢贤元. 1992. 十字花科植物上桃蚜的两个生物型. 植物保护, 18(1): 31-32]
- Xue K, Deng S, Wang RJ, Yan FM, Xu CR. 2008. The relationship between the feeding behaviors of cotton aphids and the Bt cotton surface characteristics: a case study on non-target effects. *Science in China Series C: Life Sciences*, 38(2): 188-198 (in Chinese) [薛堃, 邓素, 王戎疆, 闫凤鸣, 许崇任. 2008. 转 Bt 基因棉叶片表面特性与棉蚜取食行为的关系: 非靶效应的个案研究. 中国科学 C 辑: 生命科学, 38(2): 188-198]
- Yan FM. 2000. Role of glucosinolates in the host plant part preferences by the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*. *Acta Entomologica Sinica*, 43(3): 297-304 (in Chinese) [阎凤鸣. 2000. 芥子油苷在甘蓝蚜寄主部位选择行为中的作用. 昆虫学报, 43(3): 297-304]
- Zhang JL, Wu GX, Zhao JW. 2000. The sensitivity test of insecticides on different color forms of *Myzus persicae*. *Wuyi Science Journal*, 16: 93-99 (in Chinese) [张建亮, 吴国星, 赵景玮. 2000. 不同体色桃蚜对杀虫剂的敏感性测定. 武夷科学, 16: 93-99]
- Zhang PF, Chen JQ, Zhang X, Wang B, Jiang QF. 2001. The feeding behavior and the acquisition of CMV by the cotton aphid *Aphis gossypii*. *Acta Entomologica Sinica*, 44(4): 395-401 (in Chinese) [张鹏飞, 陈建群, 张闲, 王斌, 蒋群峰. 2001. 棉蚜获得黄瓜花叶病毒的行为与取食过程的关系. 昆虫学报, 44(4): 395-401]
- Zhao C. 2014. Study on differentiation of *Myzus persicae* on tobacco in China. Master Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [赵冲. 2014. 我国烟蚜种群分化的研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院]

(责任编辑:李美娟)